

## Gömbcsap szerelése ember-robot kollaborációban

Nacsa János <sup>1,2</sup>

<sup>1:</sup> *Mérnöki és Üzleti Intelligencia Kutatólaboratórium, SZTAKI*

[nacsa.janos@sztaki.hu](mailto:nacsa.janos@sztaki.hu)

<sup>2:</sup> *Járműipari Kutatóközpont, Széchenyi István Egyetem*

Hajós Mátyás, Komáromi Gergely, Horváth Gergely

*Mérnöki és Üzleti Intelligencia Kutatólaboratórium, SZTAKI*

[hajos.matyas](mailto:hajos.matyas@sztaki.hu) | [komaromi.gergely](mailto:komaromi.gergely@sztaki.hu) | [horvath.gergely@sztaki.hu](mailto:horvath.gergely@sztaki.hu)

Pataki Balázs

*Elosztott Rendszerek Osztály, SZTAKI*

[pataki.balazs@sztaki.hu](mailto:pataki.balazs@sztaki.hu)

**Assembly of ball valve in human–robot collaboration:** A ball valve assembly task, as an example, was analysed and solved with a collaborative way, when a cobot and a human operator can work together. A human assistance system (HMIC) was introduced to lead and help the operator to process the different assembly steps.

### Bevezetés

Az Ipar 4.0 koncepció megjelenése radikálisan megváltoztatta az egész társadalomban az ipari termelésről alkotott képet. A lehetőségek és ígéretek mögötti valóban elérhető valóság kutatására és a hazai fejlesztések támogatására jött létre a Stratégiai K+F műhelyek kiválósága pályázat keretében az Ipar 4.0 kutatási és innovációs kiválósági központ, melynek megvalósulási helyszíne a SZTAKI győri telephelye, amely a Széchenyi Egyetem területén működik. A kiválósági központban a megcélzott eredmények három pontban foglalhatók össze:

- Az I4.0 elveinek, a kiber-fizikai gyártórendszer paradigma háttér-technológiáinak kutatása.
- Egyetemi és ipari oktatás, tesztkörnyezet létrehozása ötletek kipróbálására, problémák feltárására.
- I4.0 szakértői támogatást igénylő ipari megbízások vállalása és teljesítése.

A háromféle és egymást kiegészítve erősítő eredményt az alábbi kutatási területekre összpontosítva reméljük elérni:

- Szituáció-tudatos, erőforrás-hatékony és robusztus termelés-tervezés és irányítás.
- Kooperatív és adaptív termelési és logisztikai hálózatok tervezése és működtetése.
- Robusztus kooperatív kontrol kiber-fizikai rendszerekben.
- I4.0 megoldások az energia-hatékony és fenntartható gyártás támogatására.
- Számítási felhő alapú termelésinformatikai szolgáltatások.
- I4.0 megoldásokat használó, demonstrációs mini gyártó- és logisztikai rendszer létrehozása.

Jelen dolgozat az utolsó pontként említett mintarendszer egyik első eredményét ismerteti. Pontosabban a mintarendszer három fókuszából (kiber-fizikai gyártó rendszer, digitális iker és kollaboratív robotos szerelés) a legutolsóban született megoldást mutatja be: egy általánosan használt alkatrész, az egy colos gömbcsap szerelésének kollaboratív megoldását.

### 1. Kollaboratív robotos szerelés

A robotos szerelés és általában az ipari robotok használata olyan környezetben valósul meg a mai napig, ahol a gyorsan mozgó robot egy körültekintően lehatárolt térben dolgozik, ahova ember nem léphet be, amikor a robot mozog. Hagyományosan mechanikusan lezárt tereket képeznek (pl. fémketrecek) vagy speciális mozgásérzékelőkkel (pl. lézerfüggönyökkel) biztosítják, hogy a mozgó robot és az ember ne kerüljön közel egymáshoz.

Ugyanakkor egyre több olyan feladat kerül megfogalmazásra, ahol a robot és az ember közös munkája sok előnnyel kecsegtet. Pl. egy nehezebb alkatrész pontos elhelyezése, majd rögzítése során jó, ha egy robot tartja az alkatrészt, az ember pedig finom picit mozgásokkal tudja a helyére pozicionálni. Általában fogalmazódik meg az igény az emberi rugalmasság és problémamegoldó képesség kombinálására a robot precizitásával, kitartásával és akár erejével.

A lehetőség megteremtése azonban rögtön sokféle problémát felvet, amit röviden úgy lehetne jellemezni, hogyan lehet biztonságos, félelmek nélküli munkakörnyezetet megvalósítani. Részletezve ez a robottal dolgozó ember szempontjából azt jelenti, hogy:

- a robot olyan pályán mozog, amire az ember számít: „tudom, hogy mit fog csinálni”
- a robot felismeri az ember tevékenységét: „tudom, hogy érzékel engem”

Ez a két egyszerűnek tűnő elvárás megvalósítandó műszaki feladattá átfogalmazva komoly kihívásokat jelent, melyek közül a legfontosabbak az alábbiak:

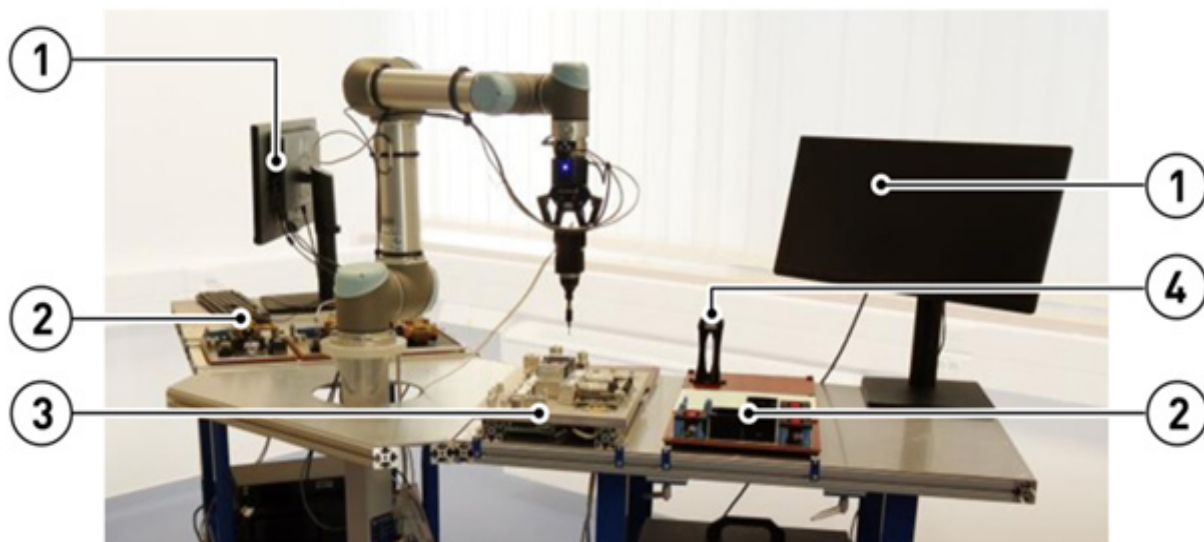
- intuitív ember-robot interfész,
- érzékelés dinamikusan változó környezetben,
- adaptivitás a robot vezérlésében,
- interoperabilitás,
- elegendően pontos modellezés és szimuláció.

Érdemes megemlíteni, hogy ezek az elvárások nagyon sokféle szabványban (EN ISO 12100, EN ISO 13949-1/2, EN 60204-1, EN 62061, EN ISO 10218, ISO/PDTS 15066, ISO 10075-1, ISO 26000 stb.) is megfogalmazódnak, melyeket meg lehetne nehéz maradéktalanul teljesíteni [1],[2].

### 2. A kollaboratív szerelési környezet

A szerelési környezet (1. ábra) központi eleme a robot, mely egy mobil állványon áll. Az állvány súlya olyan, hogy biztosítja, hogy a robot bázisa ne mozdulhasson el. A robot ill. az állvány köré több szerelő asztal helyezhető el, amely biztosítja hogy (1) egyidőben több helyen levő palettáról lehessen szerelni vagy (2) többféle szerelési feladathoz szükséges munkakörnyezetet lehessen kialakítani. Az asztalok

lábain olyan kerekerek vannak, amelyeket fel lehet emelni és akkor az asztal fixen megáll, ráadásul az asztalok egymáshoz és a robotállványhoz oldható kötéssel vannak összeépítve. A kialakítás előnye, hogy egyszerűen átépíthető, egy robot környezete könnyedén megváltoztatható, de kb. egy nap alatt a teljes I4.0 labor munkahelyeinek az elhelyezése átkonfigurálható.



1. ábra A gömbcsap szerelés robotos környezete

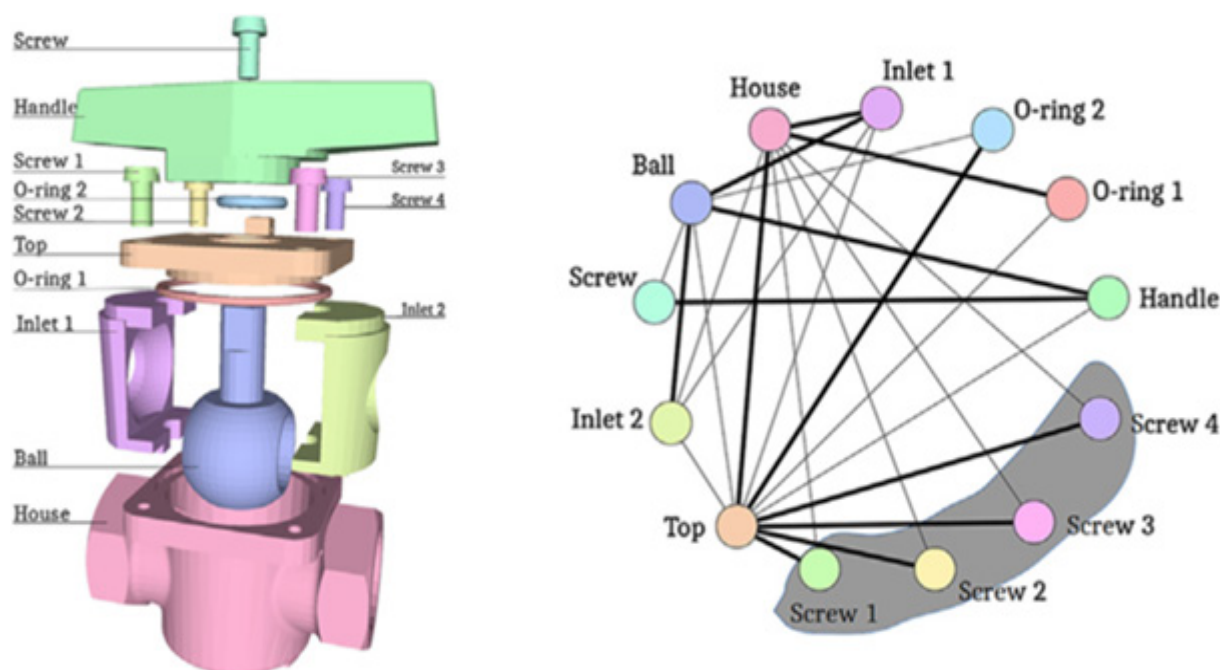
Az asztalok alatti tálcákra helyezkednek el a szerelési környezet IT erőforrásai a robotvezérlő és egy számítógép, amely biztosítja az ember és a robot valamint a teljes rendszer és a laborszintű vezérlés MESS [4] közötti kapcsolatot. Az emberrel sokféle módon képes a rendszer kommunikálni (4. fejezet), de különösen a fejlesztéskor a hagyományos monitorok (1) az elsődlegesek. A szerelendő munkadarabok ún. palettákra (2) találhatók, melyeken az alkatrészek strukturáltan, szerelésre előkészítve találhatók. A palettákat mobilrobot (AGV) vagy operátor szállítja a munkahelyre és lyuk-csap illesztéssel kerülnek pontos pozícióba vagy a robot vagy az ember közreműködésével. A szerelési készüléket (3) kézzel kell átállítani (megfelelő ülések ki/be szerelésével, pozicionálásával), hogy alkalmas legyen pl. az egy colos gömbcsap szerelésére. A legtöbb szerelési lépés a robot megfogójával végrehajtható, kivéve a csavarozás, amikor egy csavarozó szerszámot kell a robotnak megfognia. A speciálisan tervezett szerszám egy rögzített állványon (4) található, innen veszi fel a robot, amikor a csavarozás következik.

### 3. Az egy colos gömbcsap szerelési modellje

A gömbcsap, amely alapvetően egy egyszerű tárgy, összesen 13 alkatrészből áll, melyek sok szempontból különböznek: műanyag - fém, alaktartó - alakváltozó; speciális elem - tömeg alkatrész stb. A 2. ábra bal felén a gömbcsap egy ún. „robbantott alkatrészsrajza látható”, míg a jobb oldalon a gráf mutatja az egyes alkatrészek kapcsolódását (vastag vonalak). Látható az ábrán, hogy a négy csavar egymással felcserélhető, hogy melyiket melyik menetbe csavarjuk be a fedélre. Elméleti módszerek is léteznek [5] az összeállított CAD modellből közel

automatikusan generálni a szerelési sorrendtervet, a gömbcsap esetében ez a módszer ellenőrzésre szolgált és ugyanazt eredményezte, mint a szerzők által kialakított sorrend. Fontos megjegyezni, hogy a robotos szerelés nem lett volna lehetséges, ha a robot megfogójának a pofájába nem került volna egy speciális profilú elem, melynek segítségével a robot megbízhatóan fel tudta venni a kisebbik O gyűrűt. Az eredeti – univerzálisabb – elem ezzel nem boldogult.

A szerelés lépéseinek a programozásánál több olyan mikro operációt is be kellett építeni a robot programba, amelyet az elméleti modellből nem lehetséges meghatározni. Pl. a fröccsöntött műanyag tömítések méretének szórása miatt a fedélbe helyezett tömítésekkel körülvevett gömböt kétféleképpen is „meg kellett nyomni”, hogy biztosan belekerüljön a tömítés pereme a fedélen erre a célra kialakított vátatba. A kézi szerelések is azt mutatták, hogy ugyanezzel a problémával az ember is gyakran találkozott.



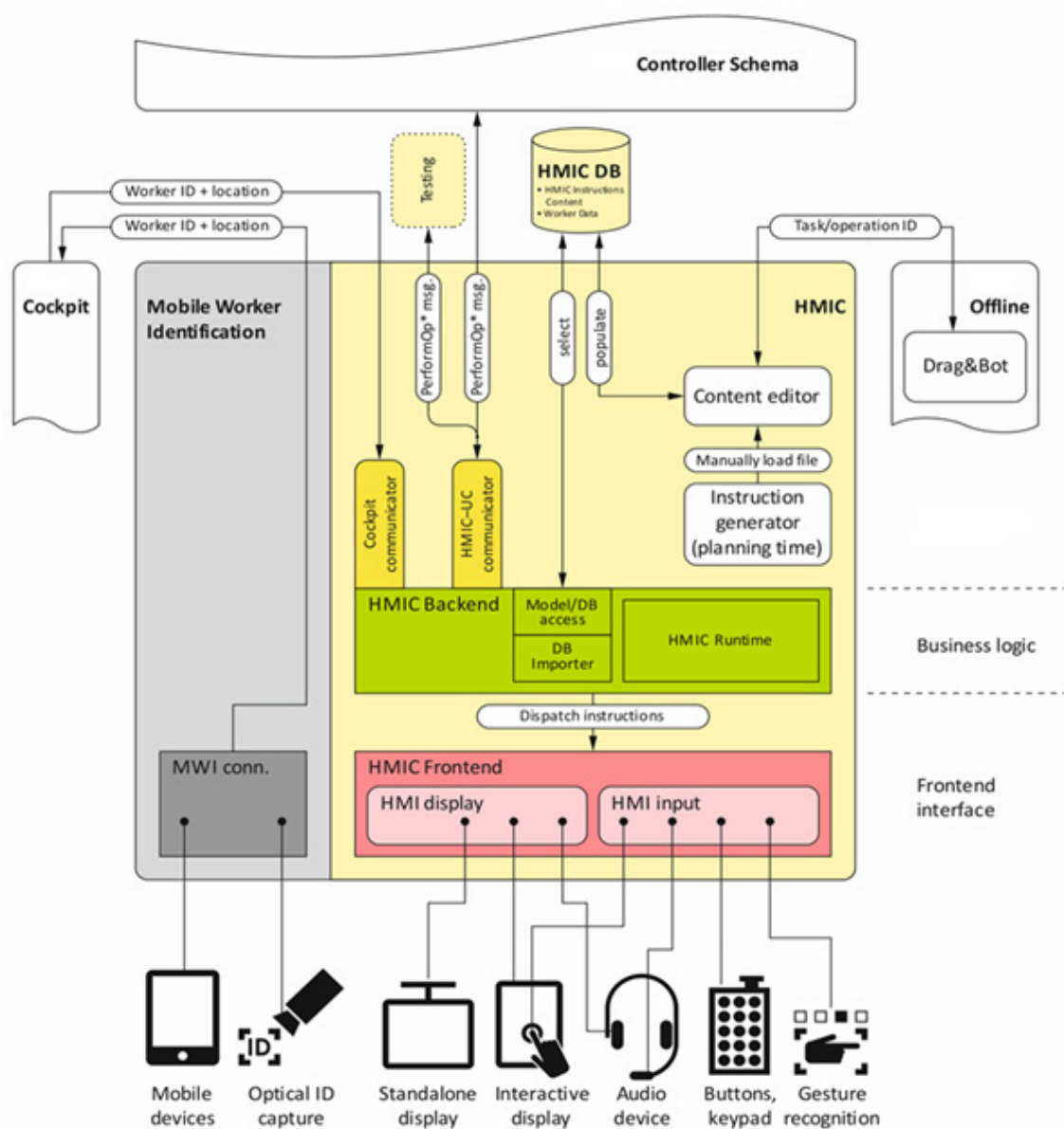
2. ábra A gömbcsap alkatrészei és szerelési kapcsolatok

#### 4. Multi-modális kommunikáció a robot és az ember között

Ipari környezetben valamilyen IT eszköz (pl. számítógép) vagy gép (pl. robot) és az ember közötti kommunikációt hagyományosan monitor és billentyűzet/egér eszközökkel valósítják meg. A multimodális kommunikáció arra szolgál, hogy kiszélesítse a lehetséges kommunikációs csatornákat, hogy mindig azon a csatornán és abban a formában kommunikáljon az ember és a gép, amely az adott feladathoz és környezethez, sőt az adott emberhez a leginkább megfelelő. Rögtön a vizuális megjelenítés formája lehet többféle – például szöveg, kép, videó, virtuális valóság, kiterjesztett valóság stb. – de más módon is közölhetünk információkat az emberrel (beszédszerű hang, speciális fényjelzés, hangeffektusok, rezgés a telefonon stb.) Még nagyobb a skála, hogy az ember hogyan küldhet üzeneteket: a billentyű,

egér, a napjainkban igen elterjedt érintőképernyő mellett szóban elmondott parancsokkal, különféle nyomógombokkal (pl. vészstop), de akár testhelyzetével, kar vagy kézmozdulataival.

Ugyanilyen fontos a kommunikáció tartalma is, ami sokkal többet jelent, mint pl. az üzenet nyelve. Más információra van szüksége egy gyakorlott szakembernek, mint egy kezdőnek vagy egy frissen a feladathoz állított munkásnak. Egy fiatalabb ember általában jobban érti a vizuális jelzéseket, míg az idősebbek inkább a szöveges magyarázatokhoz vannak hozzászokva. Van, aki igényli, hogy sok ellenőrzési pont legyen, mert ez megnyugtatja, míg másokat ezek inkább idegesítenek. Olyan eszközre van szükség, amelyben ez a sokféle kommunikációs csatorna és igény egyszerűen konfigurálva megvalósítható.



3. ábra Sematikus ábra a HMIC architektúrájáról





## 5. HMIC

Szerelés közben a felhasználót utasításokkal kívánjuk ellátni, de nem szeretnénk korlátozni magunkat abban, hogy erre milyen eszközt használjunk. Az előző fejezetben bemutatott eszközök egységes kezelése érdekében kidolgozásra került a Human Machine Interface Controller (HMIC) [3]. Elvárás, hogy a kommunikáció kétirányú legyen, tehát felhasználói beavatkozásra is legyen lehetőség. Mivel nincs szükség arra, hogy a felhasználó által használt eszköz komplex logikát implementáljon, ezért logikus döntésnek bizonyult a szerver-kliens megvalósítás és a népszerű és széles körben elterjedt sztenderdek használata (például HTML5). Ez lehetőséget biztosít arra, hogy a megjelenítő eszközök flexibilisen változtathatók legyenek, illetve tetszőleges új eszközt használhassunk. A rendszer eredetileg egy komplex rendszer részeként készült, így fel lett készítve külső komponensekkel való kommunikációra, szabványosított interfészen keresztül. Ennek részleteit a 3. ábra szemlélteti.

## 6. Kollaboratív gömbcsap szerelés állapotgépi leírása

A szerelés sok apró lépése öt komplex műveletbe lett összevonva. Ezek a lépések, bár különböző komplexitásúak, a tapasztalatok szerint minden operátor számára érthető feladatokat jelentenek:

- A gömb és a tömitések összeállítása.
- A szükséges két O gyűrű felhelyezése a fedélre.
- A ház összeállítása, amikor először a fedél közepén levő lyukba kell helyezni az első lépésben összeállított gömböt a tömitésekkel együtt, majd az egészre rányomni a házat.
- A fogantyú ráhelyezése a házra.
- A fedél és a ház összezsavarozása, valamint a fogantyú csavarozása.

Az első két művelet a strukturált palettán történik, a harmadik a szerelési készülék egy külön területén, melyet megfelelő ülékek szolgálnak. Illetve a művelet végén a házat megfordítva a készülék satujába kerül a munkadarab. Itt kerül rá a negyedik lépésben a fogantyú illetve történik a csavarozás.

Mindegyik szerelési műveletet a kollaboratív környezetben az operátor is és a robot is végre tudja hajtani, ugyanakkor a műveletek közötti ellenőrzést azonban csak az ember, amely feladatok elsősorban a robot műveletei miatt szükségesek, de fel kell készülni képzetlen és így gyakorlatlan operátor támogatására is. Ezekből a megfontolásokból alakult ki az alábbi állapotgépi leírás, ahol soronként kell végrehajtani a műveleteket:

Feladat	Emberi művelet	Robot művelet
Kiindulási feltételek ellenőrzése	01_C	
A gömb és a tömitések összeállítása	02_M	02_R
A gömb tömités ellenőrzése	02_C	
O gyűrűk fedélbe helyezése	03_M	03_R
Fedélben levő O gyűrűk ellenőrzése	03_C	
Ház összeállítása	04_M	04_R
Az összeállított ház ellenőrzése	04_C	
Fogantyú felhelyezése	05_M	05_R
Az fogantyús ház ellenőrzése	05_C	
Csavarozás	06_M	06_R
A kész gömbcsap ellenőrzése	06_C	
Hiba	00_X	

Az állapotleírásban az utolsó sor kivételt jelent, hiszen ide akkor ugrik a vezérlés, ha valahol hiba történt. Ekkor a félig kész alkatrészt eltávolítva a szerelési készülékből és palettát cserélve egy új munkadarab szerelése kezdhető meg.

## 7. Az operátor támogatása a HMIC környezetben

Az állapotleírás nyomán készülhetett el az operátor munkáját segítő rendszer, amely – valós ipari tesztek (Volvo, Aciturri) tapasztalatai [6] alapján a szöveges információ mellett videót vagy képet tartalmaz. Az ellenőrzési pontokon az operátor két képet lát a szöveg mellett: az alkatrészek palettáját és a szerelési készüléket, mindkettőt abban az állapotban, ahogy az adott ponton ki kell nézniük. Az emberi szerelés választása esetén a feladat ismertetése mellett egy többször is megtekinthető videó mutatja a tennivalót. A robotos szerelés választásakor látható, hogy a robot hogyan végzi el a szerelési lépést (egy korábbi felvétel), majd a szerelés végeztével a rendszer tovább lép a következő – ellenőrzési – lépésre (4. ábra).



4. ábra A 02\_R művelet a HMIC-ben

### Köszönetnyilvánítás

A bemutatott kutatás „Ipar 4.0 kutatási és innovációs kiválósági központ” projekt (GINOP-2.3.2-15-2016-00002) keretében valósult meg, és az EU Horizon 2020-as EPIC projektje (No. 739592) is támogatta, mivel bekerült a projekt esettanulmányai közé.

### Összegzés

Kollaboratív szerelési munkakörnyezetben, amely az Ipar 4.0 kutatások egyik fókuszja, egy kísérleti rendszer került ismertetésre, ahol az egy colos gömbcsapot robot és/vagy ember szereli össze 5 lépésben. Röviden bemutatásra került az együttműködést biztosító HMIC rendszer is.

### Hivatkozások

- [1] Zsolt Kemény, Richárd Beregi, János Nacsa, Csaba Kardos, Dániel Horváth: Example of a problem-to-course life cycle in layout and process planning at the MTA SZTAKI learning factories; 9th Conference on Learning Factories 2019
- [2] L. Wang, R. Gao, J. Váncza, J. Krüger, X.V. Wang, S. Makris, G. Chryssolouris: Symbiotic human-robot collaborative assembly; CIRP Annals -- Manufacturing Technology, Vol. 68. No. 2. (2019)
- [3] Cs. Kardos, Zs. Kemény, A. Kovács, B. E. Pataki, J. Váncza: [Context-dependent multimodal communication in human-robot collaboration](#); 51st CIRP Conference on Manufacturing Systems, Procedia CIRP 72 (2018) p. 15-20



- [4] Pedone Gianfranco, Beregi Richárd, Erdős Gábor: Manufacturing Execution and Support System (MESS) for Future Intelligent Factory Architecture (FIFA), Functional Specification, Kutatási jelentés (IPAR 4.0 Kutatási és Innovációs Kiválósági Központ, GINOP-2.3.2-15-2016-00002), SZTAKI, 2018
- [5] Kardos, Cs., Kovács, A., Váncza, J.: Decomposition approach to optimal feature-based assembly planning. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 66(1), 2017
- [6] SYMBIO-TIC Final Video  
[http://www.symbio-tic.eu/index.php?option=com\\_k2&view=item&id=734:symbio-tic-final-video&Itemid=33](http://www.symbio-tic.eu/index.php?option=com_k2&view=item&id=734:symbio-tic-final-video&Itemid=33)